动 物 学 研 究 2000, Apr. 21 (2): 108～114
Zoological Research
CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853



罗非鱼对盐碱池塘围隔浮游生物群落的影响

赵 文[1] 董双林 郑伟刚 张兆琪
(青岛海洋大学教育部水产养殖开放实验室 青岛 266003)

摘要：本文报道了单养尼罗罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）对施肥处理下盐碱池塘围隔生态系统浮游生物群落的影响。结果表明，罗非鱼的放养使浮游植物丰度、叶绿素 a 含量和初级生产力增大，浮游植物小型化，生物量以小型硅藻和绿藻占优势，裸藻占有相当比重；浮游动物生物量也增大，桡足类占优势，枝角类小型化，原生动物密度增大。施肥特别是施有机肥能显著地提高浮游植物生物量，使透明度降低，但施无机肥对初级生产力和浮游动物生物量影响不大。施有机肥围隔浮游植物和浮游动物密度、浮游动物生物量和浮游生物多样性指数高于其他有鱼围隔，罗非鱼的生长最好。文后讨论了罗非鱼滤食和施肥对浮游生物群落结构的影响，并与鲢鱼的实验结果（赵文，1999）进行了比较。

关键词：罗非鱼；施肥；浮游生物；生物量；群落结构；盐碱池塘围隔生态系统
中图分类号：Q959.483 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853(2000)02-0108-07

尼罗罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）是广盐性的以浮游生物为主食的杂食性鱼类，是我国淡水和半咸水养殖的重要鱼类。大量的研究表明，鱼类对淡水生态系统的结构与功能有重大影响，以致在营养物来源丰富的条件下，某些高密度的鱼类种群可加速水体的富营养化(Andersson等,1978;Shapiro等,1984;Carpenter 等,1987;阮景荣等,1993a,b)。

关于罗非鱼对浮游生物的下行效应（top-down effect），国内外已有一些研究(Drenner 等,1984;阮景荣等,1993a,b;卢敬让,1996)。低洼地盐碱池塘条件下单养罗非鱼对浮游生物的下行效应尚未见报道。本文研究了不同处理下围隔生态系统中罗非鱼对浮游生物群落结构及其初级生产力的影响，旨在为丰富生态学知识并为合理搭配放养罗非鱼、科学管理养鱼池水质、提高养殖效益提供理论依据。

1 材料与方法

实验池塘：实验于 1998 年 4～9 月间在山东省高青县大芦湖水产养殖场进行。设置实验围隔的池塘面积为 0.10 hm^2，水深为 1.40 m。实验期间水温为 18.5～32.0 ℃，电导率为 1 050～2 400 μs·cm^{-1}，总碱度为 3.02～5.64 mmol·L^{-1}。

实验围隔：以双面涂塑高密度聚乙烯编织布为围幔，以青竹为支架，将围隔架设于上述池塘中。每个围隔面积为 4 m×5 m。围幔上部超出水面 0.3 m，下部埋入池底 0.5 m。

实验鱼与肥料：罗非鱼取自山东省高青县大芦湖水产养殖场，平均规格为 75 g·ind^{-1}。实验用肥料有机肥为鸡粪，无机肥为磷酸二氢铵和氯化铵。

实验设计与管理：5 个围隔中，对照围隔（S0 和 T0）不放鱼，其余 3 个围隔（T1、T2、T3）的鱼类放养量相同，均为 10 000 ind·hm^{-2}。T0、T1 施无机肥，T3 施有机肥，S0 和 T2 不施肥（表 1）。放鱼时间为 5 月 9 日，收鱼时间为 7 月 13 日。施肥时有机肥料是先浸泡成液体肥料，无机肥是先溶解，然后均匀泼洒；施肥量、无机肥中的 N:P 配比依水的透明度和限制性营养盐测定（生氧量法）而定。实验期间通过把地下井水注入池塘以补充水的蒸发和渗漏损失，保持围隔内水深为 1.4m 左右。经常刷洗围幔，避免附着藻类发生，以消除其对实验的干扰。

测定和分析方法：围隔每 5～7d 采样 1 次，采样

收稿日期：1999-06-21；修改稿收到日期：1999-09-13
基金项目：九五攻关项目（960080401）；国家杰出青年基金资助项目（39725023）
[1]赵文，副教授，博士，主要研究方向为水生生物学、水产养殖学，现工作单位为大连水产学院养殖系，116023
E-mail：zhaowen@mail.dlptt.ln.cn

表1 各围隔罗非鱼放养量、日产量和平均施肥量

Table 1 Stocking rates, daily production of *O. niloticus* and the average amount of fertilizers applied in the enclosures

围隔 (enclosure)	S0	T0	T1	T2	T3
放养量(stocking rate)/ind·hm^{-2}	—	—	10 000	10 000	10 000
成活率(survive)/%	—	—	100	100	100
放养规格(size at start)/g·ind^{-1}	—	—	75	75	75
结束规格(size in end)/g·ind^{-1}	—	—	133.5±42.0	95.0±21	147.5±26.9
日产量(daily production)/g·m^{-2}·d^{-1}	—	—	0.93	0.32	1.15
平均施肥量(fertilization)/kg·hm^{-2}·d^{-1}					
鸡粪(chicken manure)	—	—	—	—	18.75
$NH_4H_2PO_4$	—	0.39	0.39	—	—
NH_4Cl	—	1.23	1.23	—	—

一般在上午8:00～10:00进行，采集测定浮游植物、浮游动物、叶绿素 a 、初级生产力、透明度、水温、电导率和 pH。①浮游植物的定量水样用水生-80型采水器分别在距围幔 1 m 处采集表、中、底层混合水样 1 L，加入 15 mL 鲁哥氏液（Lugol's solution）摇匀，放置在实验室内静置 24 h 以上，然后浓缩定量至 50 mL，加少许福尔马林固定。测定时充分摇匀，用定量吸管准确吸取 0.10 mL 置于浮游植物计数框内，用 Olympus BH－2 型显微镜，在 10×40 倍下观察计数 10～50 个视野，具体视浮游植物丰度大小而定。对大型浮游藻类在 10×10 倍下全片计数。②原生动物的定量采用浮游植物定量的浓缩水样进一步浓缩至 20 mL，测定时充分摇匀，用定量吸管准确吸取 0.10 mL 置于浮游植物计数框内，在 Olympus BH－2 型显微镜下全片计数。小型轮虫及无节幼体吸取上述水样 1.0 mL 置于浮游动物计数框中在 10×10 倍显微镜下全片计数。大型浮游动物系采水 20 L，用 25# 浮游生物网（网目孔径为 64 μm）过滤，浓缩液用 5% 甲醛固定，测定时在显微镜下全部计数。③对本试验采得的浮游藻类和浮游动物一般随机选取 50～100 个细胞或个体，用目微尺测量其大小。浮游植物、原生动物和轮虫按其相近的几何图形计算体积，枝角类和桡足类量其体长后按文献中相近的体长－体重回归方程推算体积。取其平均体积按体重为 1 换算为湿重。将计数结果换算成密度（density, ind·L^{-1}），然后按上述湿重计算生物量（biomass, mg WW·L^{-1}）。④叶绿素 a 的测定系采用 95% 丙酮作萃取液的分光光度计法。透明度用 Secchi 盘测定。pH 值用 PHS－2 型酸度计测定。电导率用电导仪测定。初级生产力用黑白瓶测氧法测定，黑白瓶分 5 层悬挂于离围幔 1 m 的水中，黑白瓶体积为 125 mL；挂瓶深度一般为0、30、60、90、120 cm，并根据池塘水深和透明度作适当调整，一般在 1/2 透明度处都有挂瓶，每层黑瓶、白瓶各 1 个；采水和挂瓶水层一致，采样时固定初始溶氧；在10:00～14:00 前后挂瓶 4 h 后用 Winkler 法测定溶解氧的变化量。浮游植物和浮游动物的多样性指数按 Shannon-Wiener 指数（H'）计算。

2 结 果

2.1 浮游植物群落结构

不同处理下各围隔中浮游植物平均密度、生物量及其各类群百分比见表 2。可见，3 个有鱼围隔浮游植物平均密度水平以施有机肥的 T3 最高，为 21.70×10^6 L^{-1}；施无机肥的 T1 和不施肥的 T2 平均密度相近，分别为12.21×10^6 L^{-1}和 11.95×10^6 L^{-1}。经 F 检验，T3 与 T1、T2 之间存在显著的差别（$P<0.05$），而 T1 和 T2 之间则没有显著的差别。有鱼围隔与无鱼围隔存在极显著的差异，前者明显大于后者（$P<0.001$）。密度构成上有鱼围隔均是绿藻占较大优势，且施肥围隔绿藻所占比例高达 80% 以上，其次是硅藻和蓝藻。出现率高和密度大的多是团藻目的德巴衣藻（*Chlamydomonas debaryana*）和小型的绿球藻目的种类，如扭曲蹄形藻（*Kirchneriella contorta*）、普通小球藻（*Chlorella vulgaris*）、椭圆小球藻（*C. ellipsoidea*）、尖细栅藻（*Scenedesmus acuminatus*）、四尾栅藻（*S. quadricauda*）、胶囊藻（*Gloeocystis* sp.）和华美十字藻（*Crucigenia lauterbornei*）。S0 的浮游植物密度比施肥围隔 T0的小，但差异不显著（$P>0.05$）；两个对照围隔浮游植物密度上硅藻占优势，其次是绿藻和蓝藻。

浮游植物生物量上，3 个有鱼围隔之间平均生物量水平存在显著差异（$P<0.001$）。施肥围隔特别是施无机肥围隔的浮游植物生物量比相应的有鱼不施肥围隔的高且波动也较大，其生物量大小顺序为

表 2 不同处理下各围隔中浮游生物平均密度(D)、生物量(B)及其各类群百分比

Table 2 The mean density and biomass of plankton and its composition in the enclosures with different treatments

围隔 (enclosure)		浮游植物(phytoplankton) 总量 (total)	蓝藻 (Cya.)	金藻 (Chr.)	黄藻 (Xan.)	隐藻 (Cry.)	甲藻 (Pyr.)	硅藻 (Bal.)	裸藻 (Eug.)	绿藻 (Chl.)
	密度 (density)	($\times 10^6 L^{-1}$)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S0		0.75±1.16	11.49	2.52	0.81	1.44	0.90	53.65	2.62	26.56
T0		1.28±1.65	16.40	6.01	0.69	0.95	0.79	44.73	2.06	28.37
T1		12.21±9.86	6.57	1.32	0.61	0.06	0.08	10.05	0.16	81.15
T2		11.95±9.83	11.51	2.81	0.00	1.24	0.06	9.28	0.14	74.97
T3		21.70±17.72	10.05	1.20	0.17	0.19	0.03	7.36	0.57	80.44
	生物量 (biomass)	($mg \cdot L^{-1}$)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S0		0.75±1.40	0.79	0.55	0.09	0.48	3.59	73.51	12.47	8.51
T0		1.29±1.77	0.63	0.96	0.14	0.10	3.15	45.16	11.04	38.82
T1		8.46±13.95	0.19	0.53	0.00	0.01	0.54	8.47	1.01	89.27
T2		1.52±1.63	2.06	1.63	0.00	1.83	1.79	62.09	3.08	27.53
T3		3.08±3.34	1.42	2.09	0.25	0.13	0.88	35.96	24.16	35.11

围隔 (enclosure)		浮游动物(zooplankton) 总量 (total)	原生动物 (Pro.)	轮虫 (Rotifers)	枝角类 (Cladocerans)	桡足类 (Copepods)
	密度 (density)	($ind \cdot L^{-1}$)	(%)	(%)	(%)	(%)
S0		299±215	5.43	22.66	16.30	55.61
T0		420±329	23.85	24.10	13.64	38.41
T1		545±497	49.03	7.72	9.93	33.31
T2		543±872	50.58	11.10	8.04	30.28
T3		808±1156	63.30	4.76	5.10	26.84
	生物量 (biomass)	($mg \cdot L^{-1}$)	(%)	(%)	(%)	(%)
S0		11.83±10.17	0.00	0.81	42.93	56.25
T0		16.77±19.09	0.01	0.51	32.60	66.89
T1		29.42±23.81	0.03	0.16	10.84	88.97
T2		29.76±33.12	0.03	0.26	6.10	93.61
T3		35.64±33.32	0.05	0.13	6.04	93.77

T1＞T3＞T2(表2)。有鱼围隔生物量均明显高于无鱼围隔($P<0.001$),仅不施肥的 T2 围隔与施肥的无鱼对照围隔之间差异不显著。生物量组成上,施无机肥有鱼围隔 T1 以绿藻占绝对优势(施肥后主要优势种为德巴衣藻),硅藻仅居第 2 位。其他各围隔中浮游植物生物量均以硅藻占优势,主要的优势种为星肋小环藻(*Cyclotella stelligera*)、舟形藻(*Navicula* spp.)、脆杆藻(*Fragilaria* spp.)、针杆藻(*Synedra* sp.)和披针弯杆藻(*Achnanthes lanceolata*);绿藻和裸藻居第 2 和第 3 位,优势种为扭曲蹄形藻、普通小球藻和胶囊藻;蓝藻门的蓝纤维藻(*Dactylococcopsis* sp.),金藻门的小三毛金藻(*Prymnesium parvum*)和黄绿等鞭金藻(*Isochrysis galbana*),裸藻门的绿裸藻(*Euglena viridis*)虽较常见,但均未达优势地位。

2.2 浮游动物群落结构

对浮游动物平均密度而言,有鱼围隔大于无鱼围隔,施有机肥围隔 T3 最高,平均为 808 $ind \cdot L^{-1}$,明显高于有鱼围隔 T1 和 T2;而 S0 与 T0、T1 和 T2 之间差异不明显。原生动物平均密度有鱼围隔大于无鱼围隔,以施有机肥的 T3 围隔最高。有鱼围隔浮游动物平均密度原生动物占优势,桡足类次之;无鱼围隔则桡足类占优势,轮虫次之。无鱼对照围隔的枝角类种类较多,数量也较有鱼围隔的高,虽然二者均有微型裸腹溞(*Moina micrura*)出现,但前者优势枝角类多是较大型的种类,如透明溞(*Daphnia hyalina*)、隆线溞(*Daphnia carinata*)和直额裸腹溞(*M. rectirostris*),而有鱼围隔枝角类仅是小型的微型裸腹溞和平突船卵溞(*Scapholeberis mucronata*)(表 2)。

有鱼围隔浮游动物生物量与无鱼围隔的有显著差异($P<0.05$),有鱼围隔高于无鱼围隔。两个对照围隔相比,施肥的明显大于不施肥的($P<0.01$);有鱼围隔中,生物量从大到小的顺序为 T3＞T2＞

T1,但差异不显著。无鱼围隔中施肥的浮游动物生物量显著高于不施肥的。生物量组成上各围隔均以桡足类占优势,枝角类次之。有鱼围隔桡足类占绝对优势,占总量的90%以上,主要种类有大型中镖水蚤(*Sinodiaptomus sarsi*)、近邻剑水蚤(*Cyclops vicinus*)、透明温剑水蚤(*Thermocyclops hyalinus*)和细巧华哲水蚤(*Sinocalarus tenellus*);无鱼围隔桡足类与枝角类共同占优势,枝角类生物量占总量比例是有鱼围隔的3~7倍。各围隔原生动物和轮虫生物量各围隔均很低,无鱼围隔尤甚。常见且密度较大的原生动物有小口钟虫(*Vorticella microstoma*)、车轮虫(*Trichodina* sp.)和团焰毛虫(*Askenasia volvox*)。常见轮虫为矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)和方形臂尾轮虫(*Brachionus quadridentatus*)。

不同处理下浮游动物生物量的波动较大,有鱼围隔一般均比对照围隔的大,放鱼前和放鱼初期枝角类占优势,且随时间的推移,桡足类占优势;而无鱼围隔总是桡足类和枝角类共同或交替占优势。优势浮游动物的演替也较明显,实验前期(5月15日前)无鱼围隔枝角类以微型裸腹溞占绝对优势,最高密度达118 ind·L^{-1},生物量达5.9 mg·L^{-1};实验后期则以隆线溞和透明溞占优势。有鱼围隔枝角类始终以微型裸腹溞占优势,最大密度出现于施肥后第5天的T1围隔(6月8日),为232 ind·L^{-1}。桡足类各围隔均以大型中镖水蚤和透明温剑水蚤占优势。实验结束后(7月13日~9月6日)的观测表明,各围隔微型裸腹溞、隆线溞、透明溞、透明温剑水蚤几乎绝迹,而被台湾温剑水蚤(*Thermocyclops taihokuensis*)、长肢秀体溞(*Diaphanosoma leuchtenbergianum*)取而代之;小型轮虫——暗小异尾轮虫(*Trichocerca pusilla*)、简单前翼轮虫(*Proales simplex*)和纤毛虫原生动物如瓜形膜袋虫(*Cyclidium citrullus*)和团焰毛虫密度剧增。

2.3 浮游植物初级生产力和叶绿素a含量及其他指标

浮游植物毛初级生产力和叶绿素a的平均水平有鱼围隔均显著高于无鱼对照围隔($P<0.001$)(表3)。两个对照围隔之间浮游植物毛产量和叶绿素a含量基本一致,有鱼围隔之间叶绿素a含量有显著差异($P<0.001$),其大小顺序为T1>T3>T2,而有鱼围隔之间的初级生产力平均水平相近,施肥围隔波动较大,但差异不显著。P/R系数有鱼围隔显著大于无鱼围隔,有鱼围隔P/R系数T3>T1>T2,无鱼围隔则S0>T0,其差异不显著。浮游植物多样性指数,施有机肥围隔最高,但各围隔之间没有显著差异。浮游动物多样性指数,也是施有机肥围隔最高,但与其他各围隔没有显著差异。各围隔透明度放鱼前基本一致,放鱼后有鱼围隔透明度急剧下降,而无鱼围隔透明度一直较高,无鱼围隔是有鱼围隔的2.5倍左右。比较施肥和放养罗非鱼对浮游生物群落影响上来看(表2,3),显而易见放养罗非鱼的作用较大。

3 讨　论

3.1 罗非鱼的摄食选择性对浮游生物的影响

罗非鱼是以摄食浮游生物为主的杂食性鱼类,对浮游藻类、浮游动物、腐屑和附着藻类均可摄食。我们的结果表明,单养尼罗罗非鱼引起围隔生态系统浮游生物组成发生了重大变化,使浮游植物密度、生物量、初级生产力增大,由硅藻占优势转以<10 μm的小型绿藻占优势。有研究表明,罗非鱼对浮游生物具有摄食选择性(Grover等,1989;Geiger,1983)。Irvine(1989)认为浮游动物组成与鱼类的捕食强度有关,捕食强度小,小型浮游动物数量下降,大型浮游动物如桡足类占优势;捕食强度大,则桡足类等大为下降,小型浮游动物如无节幼体等占优势。Vinyard等(1988)指出罗非鱼(*Tilapia galilada*

表3　各围隔浮游植物毛初级生产力Pg、叶绿素a含量Chla、P/R系数和浮游生物多样性指数H'

Table 3　Primary productivity, chlorophyll-a of phytoplankton, P/R ratio, and plankton diversity in the enclosures with different treatments

围隔(enclosure)	S0	T0	T1	T2	T3
Chla/μg·L^{-1}	2.72±1.06	2.82±1.56	23.21±22.06	12.67±5.53	17.67±9.06
Pg/gO_2·m^{-2}·d^{-1}	1.45±1.00	1.35±0.82	6.21±4.18	6.37±2.57	6.51±3.44
P/R ratio	1.51±1.51	1.33±1.25	2.44±1.30	2.33±1.08	2.96±1.43
浮游植物-H'(phytoplankton H')	2.702±0.483	2.736±0.549	2.733±0.605	2.595±0.422	2.806±0.505
浮游动物-H'(zooplankton H')	2.461±0.519	2.429±0.386	2.195±0.431	2.020±0.618	2.757±0.503
透明度(transparency)/cm	110±22	106±28	42±30	46±31	41±30

和 *T. aurea*.）对浮游动物和大型浮游植物（如多甲藻）有最大的摄食率、而对小型浮游植物滤食效率不高。Drenner 等（1984）认为体长 4.3～18.7 cm 的罗非鱼选择摄食>25 μm 的颗粒，能压制大型浮游植物。阮景荣等（1993a）对微型生态系统的实验表明，尼罗罗非鱼摄食使浮游动物密度下降，引起浮游植物密度、初级生产力的 *P/R* 系数的增长，同时使水柱透明度降低而 pH 增高。卢敬让（1996）认为红罗非鱼对桡足类有选择性摄食。本实验结果与上面几个作者的研究结果基本一致，浮游动物生物量不但没有下降，反而大大增加，桡足类占绝对优势，枝角类都是小型种类，桡足类仍然以个体较大、游泳迅速的大型中镖水蚤占优势，原生动物和轮虫的比例大于对照围隔。这点与阮景荣等（1993a）和卢敬让（1996）的结果明显不同，这是因为罗非鱼选择性摄食较大型的枝角类如隆线溞、透明溞，压制了大型枝角类的发展，对浮游植物的滤食压力减小、使桡足类得以大发展。另一方面，罗非鱼选择性摄食较大型浮游植物，使小型藻类得以发展，浮游植物丰度增加的同时也使原生动物和小型轮虫得以发展，为以肉食性为主的杂食性耐盐桡足类大型中镖水蚤、近邻剑水蚤、透明温剑水蚤和细巧华哲水蚤的发展创造了有利条件，因此桡足类占优势。正如 Lazzaro 等（1992）所指出的那样，以滤食和用视觉捕食浮游生物的鱼类的下行影响的途径是不同的，滤食性鱼类抑制枝角类和大型浮游植物，间接促进桡足类和小型藻类的增长；而捕食性鱼类抑制大型浮游动物、间接促进浮游植物、小型或快速逃逸的浮游动物种群增长。我们的结果与这一结论基本一致。

应该注意的是，实验水体浮游生物组成不同、得出的结论会出入很大，另外鱼类生活史早期即鱼苗阶段是以适口的浮游动物为食的，不同作者采用的试验鱼种类、规格不同，放养密度不同得出的结论是有差异的。

3.2 鲢、罗非鱼对浮游生物群落影响的比较

鲢鱼实验的结果（赵文，1999）表明，鲢鱼的放养使浮游植物丰度、叶绿素 a 含量和初级生产力增大，浮游植物小型化，生物量以小型硅藻和绿藻占优势；浮游动物生物量减小、特别是枝角类的生物量无鱼围隔大于有鱼围隔，且多是较大型的种类。与此相比较，在其他条件相同情况下，尼罗罗非鱼与鲢对浮游生物群落的影响稍有不同，罗非鱼也使浮游植物丰度、叶绿素 a 含量和初级生产力增大，同样压制枝角类，但浮游植物小型化更剧烈，小型绿藻占优势，浮游动物特别是桡足类生物量大于无鱼对照围隔。可以断言、在加速水体富营养化的功能上罗非鱼能比鲢鱼更有效。

Lazzaro 等（1992）研究了滤食性鲋吻鲟（*Dorosoma cepedianum*）和靠视觉捕食的蓝鳃鱼（*Lepomis macrochirus*）对浮游生物的影响，指出鱼类对桡足类、大型绿藻、浊度和>200 μm 颗粒磷的影响是鱼类生物量依赖性的，即鱼类生物量小，小型浮游动物数量下降，大型浮游动物如桡足类占优势，鱼类生物量大，则桡足类等大为下降，小型浮游动物如无节幼体等占优势；而对除此之外的其他变量是非密度依赖性的。虽然两种鱼类具有不同的营养级联途径，但在调节浮游生物群落和水质方面，鱼类生物量比摄食类型更重要。我们在围隔实验中没有研究不同鱼类放养量对浮游生物的影响。均为浮游生物食性的鲢鱼和罗非鱼放养密度相同，但罗非鱼的生物量大于鲢鱼的生物量，罗非鱼围隔桡足类生物量、绿藻密度优势度大于鲢鱼围隔。这与 Lazzaro 等（1992）的上述结论是矛盾的。看来不同鱼类调节浮游生物群落和水质的模式上不能一概而论，对此尚需进一步研究。

3.3 单养罗非鱼和鲢鱼围隔施肥对浮游生物影响的比较

施用无机肥和有机肥对浮游生物影响的途径是不同的、施用无机肥旨在补充植物所需要的营养盐类（主要是氮、磷），即通过增加浮游植物的初级生产力而提高鱼产量。因此，施用无机肥料的效果主要从浮游植物的生物量和生产量高低反映出来。研究表明，施肥能增加浮游植物生物量和初级生产力（Boyd，1973，1990；Hepher，1962；卢敬让等，1992），与此同时也会增加浮游动物的丰度（Boyd，1973；Parmley 等，1985）。我们的结果与此基本一致，施无机肥围隔浮游植物密度均比相应的不施肥围隔的大，浮游植物生物量和叶绿素 a 含量也高。与养鲢鱼围隔不同的是，各个养罗非鱼围隔的初级生产力相近，施无机肥浮游动物生物量水平和不施肥围隔基本一致，反映了罗非鱼搅动底泥和水的能力要大于鲢鱼。底泥营养盐释放于水层中，加快了水体的物质循环，因此施无机肥促进浮游植物增长、透明度减小，浮游植物自荫作用增大，致使施肥对初级生产力的影响被遮盖了。

施入池塘的N和P的相对比值对发展和维持所希望的浮游植物（如微藻）种群是重要的。一般认为，施无机肥所产生的藻类大都是绿藻、裸藻或薄甲藻，如Schindler（1977）认为总氮和总磷比例增大，浮游生物群落由蓝藻向绿藻演替；Holmgren（1984）指出，单施氮肥可促进薄甲藻的生物量；何志辉等（1989）指出，鱼池施肥后浮游植物的发展既与原先水中种类组成有关，又受到施肥的影响，温度低时施肥往往促进小型硅藻和金藻增长，施氮肥量高时绿球藻类占优势，如单施磷肥易促进固氮蓝藻的繁殖，我国鱼池肥水中在后期一般以鞭毛藻类和蓝藻占优势；Seymour（1980）和Wetzel（1983）认为较低的氮磷比或单施磷肥易促进蓝藻的生长；Boyd（1990）也指出施肥池塘蓝藻有时占优势。我们的结果表明，盐碱池塘浮游植物生物量大都是硅藻占优势，养罗非鱼的施无机肥围隔浮游植物生物量由硅藻占优势转为绿藻占优势。与鲢鱼实验一样，各围隔蓝藻均未达优势地位，表明盐碱池塘氮是不缺乏的。

还应指出，罗非鱼对浮游生物影响的机理既与其摄食选择性有关，又与罗非鱼消化生理有关。据Bowen（1983）的资料，活跃消化的罗非鱼胃液的pH值常低于1.25甚至1.0，可溶解蓝藻的细胞壁，并使硅藻的细胞壁变性，但对绿藻和水草的纤维素细胞壁无直接作用。因此随着罗非鱼放养，蓝藻生物量降低、绿藻生物量增大的主要原因是罗非鱼胃消化生理特性决定的。其他藻类的变化也与此有关。

从有机肥料到鱼类可经过3个能流途径：①以腐质形式被浮游动物或鱼类直接摄食；②形成溶解有机质为细菌所利用，细菌再被浮游动物或鱼类所摄食；③分解为营养盐后通过浮游植物到鱼类。施无机肥主要引起浮游植物“水华”，而施有机肥后既促进了浮游植物增长，又促进了作为浮游动物食物的细菌和原生动物数量的增加（Boyd，1990）。我们的研究表明，施有机肥围隔浮游植物生物量上硅藻和绿藻相近，硅藻生物量平均值较大，裸藻、金藻的生物量占总量比例高于其他所有围隔，原生动物丰度较大。这一结果与鲢鱼实验以及我们对该地区30多个盐碱池塘浮游植物的调查结果（赵文，1999）相吻合。所不同的是施有机肥围隔罗非鱼生长最好，鲢鱼则正好相反，生长较差。这是偶然因素还是其他机制造成的尚需进一步研究。

参考文献

卢敬让，李德尚，1992. 大泽山水库施肥养鱼条件下浮游生物的变动[J]. 水产学报，**16**(3)：256～264.［Lu J R，Li D S，1992. Variations of plankton under fertilization for fishfarming in Dazeshan Reservoir *Journal of Fisheries of China*，**16**(3)：256－264.］

卢敬让，1996. 受控综合养虾围隔生态系浮游生物生态学研究[D]. 博士论文. 青岛海洋大学.（Lu J R，1996. Studies on plankton ecology of fertilized enclosure-ecosystems in shrimp ponds. Themes Ph's. Ocean University of Qingdao）

阮景荣，戎克文，王少梅等，1993a. 罗非鱼对微型生态系统浮游生物群落和初级生产力的影响[J] 应用生态学报，4(1)：65～73.［Ruan J R，Rong K W，Wang S M *et al*，1993. Effect of Nile tilapia on plankton community and primary productivity of freshwater microcosms. *Chinese Journal of Applied Ecology*，4(1)：65－73.］

阮景荣，刘衢霞，王少梅等，1993b. 罗非鱼对微型生态系统营养物水平的影响[J]. 应用生态学报，4(4)：404～409.［Ruan J R，Liu Q X，Wang S M *et al*，1993. Effect of Nile tilapia on nutrient levels of freshwater microcosms. *Chinese Journal of Applied Ecology*，4(4)：404－409.］

何志辉，王武，1989. 养鱼池生态学[A]. 见：张扬宗 中国池塘养鱼学[M]. 北京：科学出版社. 40～88.（He Z H，Wang W，1989 Ecology of fish-culture ponds. In：Zhang Y Z. Fish-culture of ponds in China. Beijing：Science Press. 40－88.）

赵 文，1999. 沿黄氯化物水型盐碱池塘养殖环境生物学的研究[D]. 博士论文. 青岛海洋大学.（Zhao W，1989. Studies on aquacultural environment biology in saline-alkaline ponds with chloride water types in the bank of Yellow River. Themes Ph's. Ocean University of Qingdao.）

Andersson G，Berggren H，Cronberg G *et al*，1978. Effects of planktivorous and benthivorous fish on organisms and water chemistry in eutrophic lakes[J]. *Hydrobiologia*，**59**：9－15.

Bowen S H，1983. Feeding，digestion and growth-qualitative considerations[A]. In：Pullin R S V. LoweMcConnell R H. The biology and culture of Tilapias[M]. 141－156.

Boyd C E，1973 Summer algal communities and primary productivity in fish pond[J] *Hydrobiologia*，**41**：357－390

Boyd C E，1990. Water quality management for pond fish culture[M]. Elsevier：Scientific Publishing Company. 101－130

Carpenter S R，Kitchell J F，Hodgson J R，1987. Regulation of lake primary productivity by food web structure[J]. *Ecology*，**68**：1863－1876

Drenner R W，Taylor S B，Lazzaro X *et al*，1984. Particle-grazing and plankton community impact of an omnivorous cichlid[J]. *Trans. Am. Fish. Soc*，**113**：397－402.

Geiger J G，1983. A review of pond zooplankton production and fertilization for the culture of larval and fingerling striped bass[J]. *Aquaculture*，**35**：353－369.

Grover J J，Olla B M，O'Brien M *et al*，1989. Food habits of florida redtilapia fry in manured seawater pools in the bahamas[J]. *Prog. Fish. Cult.*，**51**：152－156.

Holmgren S K，1984. Experimental lake fertilization in the Knokkel

area, Northern Sweden, Phytoplankton biomass and algal composition in natural and fertilized subarctic lakes[J]. *Int. Rev. Gesamt Hydrobio*, 69(6): 781 - 817.

Hepher B, 1962. Primary production in fish ponds and its application to fertilization experiments[J]. *Limnol Oceanogr.*, 7: 131 - 135.

Irvine K, 1989. The loss of submerged plants with eutrophication Ⅱ. Relationship between fish and zooplakton in a set of experimental ponds, and conclusions[J]. *Freshwater Biology*, 22: 89 - 107.

Lazzaro X, Drenner R W, Stein R A *et al*, 1992. Planktivores and plankton dynamics: effects of fish biomass and planktivore type[J]. *Can J. Fish. Aquat Sci.*, 49: 1644 - 1677.

Parmley D C, Geiger J G, 1985. Success patterns of zooplamkton in fertilizaed culture ponds without fish[J]. *Prog. Fish Cult*, 47(3): 183 - 186.

Shapiro J, Wright D I, 1984. Lake restoration by biomanipulation: Round Lake, Minnesota, the first two years[J]. *Freshwater. Biol.*, 14: 371 - 383.

Schindler D W, 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes[J]. *Science*, 195: 260 - 262.

Seymour E A, 1980. The effects and control of algal blooms in fish ponds [J]. *Aquaculture*, 19: 55 - 74.

Vinyard G L, Drenner R W, Gophen M *et al*, 1988. An experimental study of the plankton community impacts of two omnivorous filter-feeding Cichlids, *Tilapia galilada* and *Tilapia aurea* [J]. *Can. J Fish. Aquat. Sci.*, 45: 685 - 690.

Wetzel R G, 1983. Limnology 2nd ed[M]. Philadelphia: Saunders College Publishing. 860.

EFFECTS OF NILE TILAPIA ON PLANKTON IN ENCLOSURES WITH DIFFERENT TREATMENTS IN SALINE-ALKALINE PONDS

ZHAO Wen[①] DONG Shuang-lin ZHENG Wei-gang ZHANG Zhao-qi

(*The Open Laboratory of Aquaculture, Ocean University of Qingdao, Qingdao* 266003, *China*)

Abstract: The effects of Nile tilapia (*Orecohromis niloticus*) on the plankton communities were estimated in the enclosures with different treatments in saline-alkaline ponds. After tilapia were stocked in the enclosures, abundance, the concentration of chlorophyll-a and primary productivity of phytoplankton increased. The biomasses of phytoplankton were composed mainly by smaller species, in which dominant species were small diatom and green algae, and subdominant species was Euglenophyta. The biomasses of zooplankton increased too, predominant by copepods, the size of cladocerans tended to small, the density of protozoa increased. Fertilization, especially apply organic fertilizer, could significantly increase the biomass of phytoplankton and decrease transparency depth, but the impacts of apply inorganic fertilizer to primary production and biomass of zooplankton were insignificant. The density and diversity index of plankton and the biomass of zooplankton in enclosure with apply organic fertilizer were higher than those of enclosures with fish, and the growth of tilapia was the fastest in experimental enclosures. The impacts of tilapia filter feeding and apply fertilizer to the community structures of plankton were discussed, and comparison of these results to that of silver carp were carried out.

Key words: Nile tilapia; Apply fertilizer; Plankton; Biomass; Community structure; Enclosures in saline-alkaline ponds

①Correspondence to: Department of Aquaculture, Dalian Fisheries College, Dalian 116023, PRC
E-mail: zhaowen@mail.dlptt.ln.cn